

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-196661
 (43)Date of publication of application : 19.07.2001

(51)Int.Cl. H01L 43/08
 G11C 11/14
 G11C 11/15
 H01F 10/08
 H01L 27/10

(21)Application number : 2000-119589
 (22)Date of filing : 20.04.2000

(71)Applicant : SONY CORP
 (72)Inventor : BESSHO KAZUHIRO
 IWASAKI HIROSHI

(30)Priority

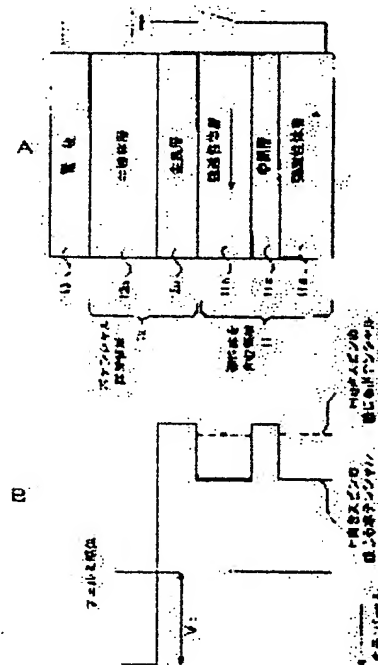
Priority number : 11305520 Priority date : 27.10.1999 Priority country : JP

(54) MAGNETIZATION CONTROL METHOD, INFORMATION STORAGE METHOD, MAGNETIC FUNCTION ELEMENT, AND INFORMATION STORAGE ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily control magnetization without using a magnetic field.

SOLUTION: A potential barrier region 12 is so provided as to directly or indirectly contact a region 11 containing a magnetic body. The region 11 comprises, for example, a laminated structure where ferromagnetic body layers 11a and 11b are separated by a non-magnetic intermediate layer 11c. The potential barrier region 12 comprises, for example, a metal layer 12a and a semiconductor layer 12b, between which a Schottky barrier is formed. The change of a potential barrier of the potential barrier region 12 under application of electric field controls magnetization of the region 11 containing magnetic body. At least, one region 11 including a magnetic body is used to store information.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]
 [Date of sending the examiner's decision of rejection]
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
 [Date of final disposal for application]
 [Patent number]
 [Date of registration]
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-196661
(P2001-196661A)

(43) 公開日 平成13年7月19日 (2001.7.19)

(51) IntCl.⁷ 識別記号
H 0 1 L 43/08
G 1 1 C 11/14
11/15
H 0 1 F 10/08
H 0 1 L 27/10 4 5 1

F I テーブル (参考)
H 0 1 L 43/08 Z 5 E 0 4 9
G 1 1 C 11/14 A 5 F 0 8 3
11/15
H 0 1 F 10/08
H 0 1 L 27/10 4 5 1

審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2000-119589(P2000-119589)
(22) 出願日 平成12年4月20日 (2000.4.20)
(31) 優先権主張番号 特願平11-305520
(32) 優先日 平成11年10月27日 (1999.10.27)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

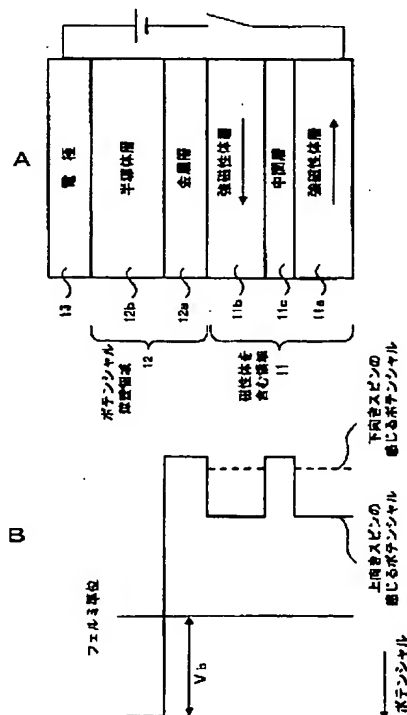
(71) 出願人 000002185
ソニー株式会社
東京都品川区北品川6丁目7番35号
(72) 発明者 別所 和宏
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
(72) 発明者 岩崎 洋
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
(74) 代理人 100082762
弁理士 杉浦 正知
Fターム (参考) 5E049 AA01 AA04 AA07 AC05 BA06
CB01 DB02 DB04 DB06 DB12
5F083 FZ10 GA09 HA10 JA38

(54) 【発明の名称】 磁化制御方法、情報記憶方法、磁気機能素子および情報記憶素子

(57) 【要約】

【課題】 磁界を用いることなく磁化を容易に制御する。

【解決手段】 磁性体を含む領域11と直接または間接的に接するようにポテンシャル障壁領域12を配置する。磁性体を含む領域11は例えば2層の強磁性体層11a、11bが非磁性の中間層11cによって分離された積層構造を有する。ポテンシャル障壁領域12は例えば金属層12aおよび半導体層12bからなり、それらの間にショットキー障壁が形成される。電界印加によるポテンシャル障壁領域12のポテンシャル障壁の変調によって、磁性体を含む領域11の磁化を制御する。磁性体を含む領域11の磁化の少なくとも一つを用いて情報記憶を行う。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 磁性体を含む領域と直接または間接的に接するようにポテンシャル障壁領域を配置し、このポテンシャル障壁領域のポテンシャル障壁の変調によって、上記磁性体を含む領域の磁化を制御するようにしたことを特徴とする磁化制御方法。

【請求項 2】 上記磁性体を含む領域は複数の強磁性体層が中間層によって分離された積層構造を有し、上記ポテンシャル障壁領域はこの積層構造の積層方向の外側に配設されたポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅を制御することにより、上記磁性体を含む領域内の上記複数の強磁性体層の磁化の相対的配置を制御するようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の磁化制御方法。

【請求項 3】 上記磁性体を含む領域は複数の強磁性金属層が非磁性金属中間層によって分離された積層構造を有し、上記ポテンシャル障壁領域はこの積層構造の積層方向の外側に配設された半導体層との界面に形成されたポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記磁性体を含む領域内の上記複数の強磁性金属層の磁化の相対的配置を制御するようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の磁化制御方法。

【請求項 4】 上記磁性体を含む領域は複数の強磁性金属層が非磁性金属中間層によって分離された積層構造を有し、上記ポテンシャル障壁領域はこの積層構造の積層方向の外側に配設された絶縁体層からなるポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記磁性体を含む領域内の上記複数の強磁性金属層の磁化の相対的配置を制御するようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の磁化制御方法。

【請求項 5】 上記磁性体を含む領域は単一の強磁性体層からなり、上記ポテンシャル障壁領域はこの強磁性体層に、一原子層以上の厚さの非磁性体層を介して接するように配設されたポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅を制御することにより、上記強磁性体層の磁化の方向を制御するようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の磁化制御方法。

【請求項 6】 上記磁性体を含む領域は単一の強磁性体層からなり、

上記ポテンシャル障壁領域はこの強磁性体層に、一原子層以上の厚さの非磁性体層を介して接するように配設された半導体層との界面に形成されたポテンシャル障壁層であり、

このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記強磁性体層の磁化の方向を制御するようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の磁化制御方法。

【請求項 7】 上記磁性体を含む領域は単一の強磁性体層からなり、

上記ポテンシャル障壁領域はこの強磁性体層に、一原子層以上の厚さの非磁性体層を介して接するように配設された絶縁体層からなるポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記強磁性体層の磁化の方向を制御するようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の磁化制御方法。

【請求項 8】 磁性体を含む領域と直接または間接的に接するようにポテンシャル障壁領域を配置し、このポテンシャル障壁領域のポテンシャル障壁の変調によって、上記磁性体を含む領域の磁化を制御し、上記磁性体を含む領域の磁化の少なくとも一つを用いて情報記憶を行うようにしたことを特徴とする情報記憶方法。

【請求項 9】 上記磁性体を含む領域は複数の強磁性体層が中間層によって分離された積層構造を有し、上記ポテンシャル障壁領域はこの積層構造の積層方向の外側に配設されたポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅を制御することにより、上記磁性体を含む領域内の上記複数の強磁性体層の磁化の相対的配置を制御し、上記磁性体を含む領域の磁化の少なくとも一つを用いて情報記憶を行うようにしたことを特徴とする請求項 8 記載の情報記憶方法。

【請求項 10】 上記磁性体を含む領域は複数の強磁性金属層が非磁性金属中間層によって分離された積層構造を有し、上記ポテンシャル障壁領域はこの積層構造の積層方向の外側に配設された半導体層との界面に形成されたポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記磁性体を含む領域内の上記複数の強磁性金属層の磁化の相対的配置を制御し、上記磁性体を含む領域の磁化の少なくとも一つを用いて情報記憶を行うようにしたことを特徴とする請求項 8 記

載の情報記憶方法。

【請求項 11】 上記磁性体を含む領域は複数の強磁性金属層が非磁性金属中間層によって分離された積層構造を有し、
上記ポテンシャル障壁領域はこの積層構造の積層方向の外側に配設された絶縁体層からなるポテンシャル障壁層であり、
このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記磁性体を含む領域内の上記複数の強磁性金属層の磁化の相対的配置を制御し、
上記磁性体を含む領域の磁化の少なくとも一つを用いて情報記憶を行うようにしたことを特徴とする請求項 8 記載の情報記憶方法。

【請求項 12】 上記磁性体を含む領域は単一の強磁性体層からなり、
上記ポテンシャル障壁領域はこの強磁性体層に、一原子層以上の厚さの非磁性体層を介して接するように配設されたポテンシャル障壁層であり、
このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅を制御することにより、上記強磁性体層の磁化の方向を制御するようにしたことを特徴とする請求項 8 記載の情報記憶方法。

【請求項 13】 上記磁性体を含む領域は単一の強磁性体層からなり、
上記ポテンシャル障壁領域はこの強磁性体層に、一原子層以上の厚さの非磁性体層を介して接するように配設された半導体層との界面に形成されたポテンシャル障壁層であり、
このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記強磁性体層の磁化の方向を制御するようにしたことを特徴とする請求項 8 記載の情報記憶方法。

【請求項 14】 上記磁性体を含む領域は単一の強磁性体層からなり、
上記ポテンシャル障壁領域はこの強磁性体層に、一原子層以上の厚さの非磁性体層を介して接するように配設された絶縁体層からなるポテンシャル障壁層であり、
このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記強磁性体層の磁化の方向を制御するようにしたことを特徴とする請求項 8 記載の情報記憶方法。

【請求項 15】 磁性体を含む領域と直接または間接的に接するようにポテンシャル障壁領域を配置した構造を有し、
このポテンシャル障壁領域のポテンシャル障壁の変調によって、上記磁性体を含む領域の磁化を制御するように

したことを特徴とする磁気機能素子。

【請求項 16】 上記磁性体を含む領域は複数の強磁性体層が中間層によって分離された積層構造を有し、
上記ポテンシャル障壁領域はこの積層構造の積層方向の外側に配設されたポテンシャル障壁層であり、
このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅を制御することにより、上記磁性体を含む領域内の上記複数の強磁性体層の磁化の相対的配置を制御するようにしたことを特徴とする請求項 15 記載の磁気機能素子。

【請求項 17】 上記磁性体を含む領域は複数の強磁性金属層が非磁性金属中間層によって分離された積層構造を有し、
上記ポテンシャル障壁領域はこの積層構造の積層方向の外側に配設された半導体層との界面に形成されたポテンシャル障壁層であり、
このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記磁性体を含む領域内の上記複数の強磁性金属層の磁化の相対的配置を制御するようにしたことを特徴とする請求項 15 記載の磁気機能素子。

【請求項 18】 上記磁性体を含む領域は複数の強磁性金属層が非磁性金属中間層によって分離された積層構造を有し、
上記ポテンシャル障壁領域はこの積層構造の積層方向の外側に配設された絶縁体層からなるポテンシャル障壁層であり、
このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記磁性体を含む領域内の上記複数の強磁性金属層の磁化の相対的配置を制御するようにしたことを特徴とする請求項 15 記載の磁気機能素子。

【請求項 19】 上記磁性体を含む領域は単一の強磁性体層からなり、
上記ポテンシャル障壁領域はこの強磁性体層に、一原子層以上の厚さの非磁性体層を介して接するように配設されたポテンシャル障壁層であり、
このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅を制御することにより、上記強磁性体層の磁化の方向を制御するようにしたことを特徴とする請求項 15 記載の磁気機能素子。

【請求項 20】 上記磁性体を含む領域は単一の強磁性体層からなり、
上記ポテンシャル障壁領域はこの強磁性体層に、一原子層以上の厚さの非磁性体層を介して接するように配設された半導体層との界面に形成されたポテンシャル障壁層であり、
このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記強磁性体層の磁化の方向を制御するようにしたことを特徴とする請求項 15 記載の磁気機能素子。

び／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記強磁性体層の磁化の方向を制御するようにしたことを特徴とする請求項 15 記載の磁気機能素子。

【請求項 21】 上記磁性体を含む領域は単一の強磁性体層からなり、

上記ポテンシャル障壁領域はこの強磁性体層に、一原子層以上の厚さの非磁性体層を介して接するように配設された絶縁体層からなるポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記強磁性体層の磁化の方向を制御するようにしたことを特徴とする請求項 15 記載の磁気機能素子。

【請求項 22】 磁性体を含む領域と直接または間接的に接するようにポテンシャル障壁領域を配置した構造を有し、

このポテンシャル障壁領域のポテンシャル障壁の変調によって、上記磁性体を含む領域の磁化を制御し、上記磁性体を含む領域の磁化の少なくとも一つを用いて情報記憶を行うようにしたことを特徴とする情報記憶素子。

【請求項 23】 上記磁性体を含む領域は複数の強磁性体層が中間層によって分離された積層構造を有し、上記ポテンシャル障壁領域はこの積層構造の積層方向の外側に配設されたポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅を制御することにより、上記磁性体を含む領域内の上記複数の強磁性体層の磁化の相対的配置を制御し、

上記磁性体を含む領域の磁化の少なくとも一つを用いて情報記憶を行うようにしたことを特徴とする請求項 22 記載の情報記憶素子。

【請求項 24】 上記磁性体を含む領域は複数の強磁性金属層が非磁性金属中間層によって分離された積層構造を有し、上記ポテンシャル障壁領域はこの積層構造の積層方向の外側に配設された半導体層との界面に形成されたポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記磁性体を含む領域内の上記複数の強磁性金属層の磁化の相対的配置を制御し、

上記磁性体を含む領域の磁化の少なくとも一つを用いて情報記憶を行うようにしたことを特徴とする請求項 22 記載の情報記憶素子。

【請求項 25】 上記磁性体を含む領域は複数の強磁性金属層が非磁性金属中間層によって分離された積層構造を有し、

上記ポテンシャル障壁領域はこの積層構造の積層方向の外側に配設された絶縁体層からなるポテンシャル障壁層であり、

このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記磁性体を含む領域内の上記複数の強磁性金属層の磁化の相対的配置を制御し、

上記磁性体を含む領域の磁化の少なくとも一つを用いて情報記憶を行うようにしたことを特徴とする請求項 22 記載の情報記憶素子。

【請求項 26】 上記磁性体を含む領域は単一の強磁性体層からなり、

上記ポテンシャル障壁領域はこの強磁性体層に、一原子層以上の厚さの非磁性体層を介して接するように配設されたポテンシャル障壁層であり、

このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅を制御することにより、上記強磁性体層の磁化の方向を制御するようにしたことを特徴とする請求項 22 記載の情報記憶素子。

【請求項 27】 上記磁性体を含む領域は単一の強磁性体層からなり、

上記ポテンシャル障壁領域はこの強磁性体層に、一原子層以上の厚さの非磁性体層を介して接するように配設された半導体層との界面に形成されたポテンシャル障壁層であり、

このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記強磁性体層の磁化の方向を制御するようにしたことを特徴とする請求項 22 記載の情報記憶素子。

【請求項 28】 上記磁性体を含む領域は単一の強磁性体層からなり、

上記ポテンシャル障壁領域はこの強磁性体層に、一原子層以上の厚さの非磁性体層を介して接するように配設された絶縁体層からなるポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、上記強磁性体層の磁化の方向を制御するようにしたことを特徴とする請求項 22 記載の情報記憶素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、磁化制御方法、情報記憶方法、磁気機能素子および情報記憶素子に関し、例えば、固体磁気メモリに適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】情報通信機器、特に携帯端末などの個人用小型情報機器の飛躍的な普及に伴い、これを構成する

メモリやロジックなどの素子には、高集積化、高速化、低消費電力化など、さらなる高性能化が求められている。特に不揮発性メモリの高密度化・大容量化は、可動部分の存在等の原因により本質的に小型化・高速化・低消費電力化が困難な磁気ハードディスクなどと相補的な技術として、ますます重要になってきている。

【0003】不揮発性メモリとしては、半導体フラッシュメモリやFeRAM（強誘電体不揮発性メモリ）などが実用化されており、さらなる高性能化に向けての活発な研究開発が行われている。しかしながら、フラッシュメモリおよびFeRAMには、以下に示すような、その動作原理、構造、使用材料等に基づく本質的な欠点が存在する。

【0004】＜フラッシュメモリ＞

1. 書き込みに浮遊ゲートへのホットエレクトロンの注入を利用しているが、この注入効率は一般に10⁻⁴程度と低く、記憶に十分な電荷を蓄えるためには μ sオーダーの書き込み時間を必要とする。
2. 1.において注入効率を上げようとすると（例えば、Fowler-Nordheim トンネル注入の利用など）、素子構造が複雑にならざるを得ないため、高集積化が困難となる。また、複雑な構造は高コストの原因となる。
3. ホットエレクトロン注入あるいはトンネル注入のいずれにしても、高電圧（一般に10V以上）が必須である。したがって、消費電力が大きい。また、携帯用途ではインバータが必要となるため、小型化に不利となる。
4. 浮遊ゲート周囲のトンネル酸化膜は書換回数が増えるに伴って劣化する。これはリーク電流を誘起し、記憶電荷の流出を促進して信頼性を低下させる。一般的な書き換え可能回数は10万回程度である。

【0005】＜FeRAM＞

1. 金属酸化物である強誘電体は、シリコンプロセスにおいて避けて通ることのできない還元雰囲気にも弱く、プロセス整合性が悪い。
2. 酸化物は一般に高温プロセスを必要とするが、これはデザインルールの微細化において不利な条件である。すなわち高密度化できない。素子構造としてはDRAM等と同等の集積度を達成できるはずであるが、これらの要因により、集積度は高々10Mb/inch²であるとも言われている。

【0006】これらの欠点を有さない不揮発性メモリとして近年注目され始めたのが、例えば「Wang et al., IEEE Trans. Magn. 33(1997), 4498」に記載されているような、MRAM (Magnetic Random Access Memory) と呼ばれる磁気メモリである。

【0007】MRAMとは、磁性体からなる微小な記憶担体を規則的に配置し、その各々にアクセスできるような配線を施した構造を有する磁気情報記憶素子である。書き込みは、この記憶担体の上方に配した選択用導線（ワード線）および読み出し用導線（ビット線）の両方に

電流を流すことにより発生する電流磁界を用いて、記憶担体を構成する各磁性体の磁化を制御することにより行う。一方、読み出しは電流磁気効果を利用して行う。MRAMは構造が単純であるため高集積化が容易であり、また、磁気モーメントの回転により記憶を行うために書き換え可能回数が大である。さらに、高電圧も必要としないし、作製の困難な酸化物もほとんど使用しない。提案された当初にはアクセス（読み出し）時間が長い点が問題であったが、GMR (Giant Magnetoresistance) 効果やTMR (Tunneling Magnetoresistance) 効果の利用により高出力が得られるようになった現在では、アクセス時間は大きく改善されている。

【0008】ところがこのMRAMの書き込み方法には、さらなる高集積化を考えた際に、本質的な問題点が存在する。すなわち、高集積化によって配線が細くなるに従い、書き込み線に流すことのできる臨界電流値が下がるため、得られる磁界が小さくなり、被記憶領域の保磁力を下げざるを得ないことである。これは情報記憶素子の信頼性が低下することを意味する。また磁界というのは、光や電子ビームのように絞ることができないため、高集積化した場合にはクロストークを発生させる恐れがある。このように、電流磁界による書き込みには本質的に問題があり、MRAMの大きな欠点になる恐れもある。

【0009】この問題点は、フラッシュメモリやFeRAMなどと同様に、純粋な電気刺激のみによって、すなわち電流磁界を利用することなく磁化の制御を行うことができれば解消される。このような方法はすでに提案されており、例えば「Mattson et al., Phys. Rev. Lett. 71(1993)185」に記載されているように、2層の強磁性体層が半導体層によって分離された構造を用いる手法がある。

【0010】この方法は、強磁性体層間の磁気的な結合が、中間層である半導体層のキャリア濃度に依存していることを利用するものである。このような強磁性体／半導体／強磁性体を積層した積層体では、中間層である半導体層のキャリア濃度を制御することにより、強磁性体層間の磁気的な結合を、例えば平行から反平行へと変化させることが可能である。そこで、一方の強磁性体層（固定層）の保磁力を大としておけば、他方の強磁性体層（可動層）の磁化を固定層に対して回転させることができる。このような電気的な入力で磁化を回転させる方法は、小型全固体素子を実現する技術として有望である。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】上述のような強磁性体／半導体／強磁性体を積層した積層体においては、半導体層を介して強磁性体層間で間接的に磁気的な相互作用が生じる。このとき、中間層である半導体層の厚さは十分に薄くする必要がある。これは半導体層を介した強磁性体層間の相互作用の大きさが、半導体層の厚さに対し

て指数関数的に減衰するためである。

【0012】いま、現実的な相互作用の大きさを得るため、例えば厚さ 2 nm、飽和磁化 12500 G (ガウス) のニッケル-鉄合金において、交換バイアス等の方法により 100 Oe (エルステッド) の保磁力を与えたものを考える。このニッケル-鉄合金の磁化を反転させるために必要なエネルギーと同等なエネルギーを、半導体層を介した間接相互作用で与えるためには、交換結合定数 J が $0.02 \text{ mJ} (\text{ジュール}) / \text{m}^2$ 以上なくてはならないことが簡単な計算により見積もられる。この大きさ以上の相互作用を与えるためには、例えば「J. J. de Vries, Physical Review Letters 78(1997) 3023」にあるように、中間層である半導体層の厚さは約 2.5 nm 以下でなくてはならないことが分かる。これが実用的な素子を提供するために中間層である半導体層に課せられる条件である。

【0013】一方、中間層である半導体層のキャリア濃度を制御することで強磁性体層間の磁氣的結合を制御するには、半導体層に対し、電圧印加もしくは電流注入のために何らかの形で電極を取付ける必要がある。さらにこの電極を含めた素子の構造は、二つの強磁性体領域(記憶担体となる)の間の半導体領域のキャリア濃度を効果的に制御できるように最適化される必要がある。しかしながら、上述のように半導体層の厚さは 2.5 nm 以下でなくてはならないため、実際に素子を作製することは現在の微細加工技術では困難である。また、仮にそのような素子が実際に作製できたとしても、半導体層と強磁性体層との界面でのショットキー障壁や界面障壁などの形成に伴う空乏層の生成によって、この程度の薄い半導体層は殆ど絶縁障壁になっていると考えられるため、キャリア濃度の変調を磁気結合の制御に反映させるのは極めて困難である。

【0014】この発明は、以上のような従来の技術の問題に鑑みて提案されたものであり、磁界を用いることなく磁化を容易に制御することが可能な磁化制御方法、これを利用した情報記憶方法、磁気機能素子および情報記憶素子を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、この発明の第 1 の発明は、磁性体を含む領域と直接または間接的に接するようにポテンシャル障壁領域を配置し、このポテンシャル障壁領域のポテンシャル障壁の変調によって、磁性体を含む領域の磁化を制御するようにしたことを特徴とする磁化制御方法である。

【0016】この発明の第 2 の発明は、磁性体を含む領域と直接または間接的に接するようにポテンシャル障壁領域を配置し、このポテンシャル障壁領域のポテンシャル障壁の変調によって、磁性体を含む領域の磁化を制御し、磁性体を含む領域の磁化の少なくとも一つを用いて情報記憶を行うようにしたことを特徴とする情報記憶方

法である。

【0017】この発明の第 3 の発明は、磁性体を含む領域と直接または間接的に接するようにポテンシャル障壁領域を配置した構造を有し、このポテンシャル障壁領域のポテンシャル障壁の変調によって、磁性体を含む領域の磁化を制御するようにしたことを特徴とする磁気機能素子である。

【0018】この発明の第 4 の発明は、磁性体を含む領域と直接または間接的に接するようにポテンシャル障壁領域を配置した構造を有し、このポテンシャル障壁領域のポテンシャル障壁の変調によって、磁性体を含む領域の磁化を制御し、磁性体を含む領域の磁化の少なくとも一つを用いて情報記憶を行うようにしたことを特徴とする情報記憶素子である。

【0019】この発明においては、典型的には、磁性体を含む領域は複数の強磁性体層が中間層によって分離された積層構造を有し、ポテンシャル障壁領域はこの積層構造の積層方向の外側に配設されたポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅を制御することにより、磁性体を含む領域内の複数の強磁性体層の磁化の相対的配置を制御する。より具体的には、例えば、磁性体を含む領域は複数の強磁性金属層が非磁性金属中間層によって分離された積層構造を有し、ポテンシャル障壁領域はこの積層構造の積層方向の外側に配設された半導体層との界面に形成されたポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、磁性体を含む領域内の複数の強磁性金属層の磁化の相対的配置を制御する。あるいは、磁性体を含む領域は複数の強磁性金属層が非磁性金属中間層によって分離された積層構造を有し、ポテンシャル障壁領域はこの積層構造の積層方向の外側に配設された絶縁体層からなるポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、磁性体を含む領域内の複数の強磁性金属層の磁化の相対的配置を制御する。

【0020】この発明においては、磁性体を含む領域は単一の強磁性体層からなり、ポテンシャル障壁領域はこの強磁性体層に、一原子層以上の厚さの非磁性体層を介して接するように配設されたポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅を制御することにより、強磁性体層の磁化の方向を制御することもある。より具体的には、例えば、磁性体を含む領域は単一の強磁性体層からなり、ポテンシャル障壁領域はこの強磁性体層に、一原子層以上の厚さの非磁性体層を介して接するように配設された半導体層との界面に形成されたポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さ

および／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、強磁性体層の磁化の方向を制御する。あるいは、磁性体を含む領域は単一の強磁性体層からなり、ポテンシャル障壁領域はこの強磁性体層に、一原子層以上の厚さの非磁性体層を介して接するように配設された絶縁体層からなるポテンシャル障壁層であり、このポテンシャル障壁層のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅をこのポテンシャル障壁層への電界の印加によって制御することにより、強磁性体層の磁化の方向を制御する。

【0021】この発明において、磁気機能素子としては、例えば、電圧印加によって磁気抵抗が変化することを利用する、電界効果トランジスタ(FET)に類似のスイッチング素子が挙げられる。このスイッチング素子一つまたは複数用いて種々の回路、例えば論理回路を構成することができる。

【0022】上述のように構成されたこの発明においては、磁性体を含む領域と直接または間接的に接するように配置したポテンシャル障壁領域のポテンシャル障壁の変調によって、磁性体を含む領域とポテンシャル障壁領域との界面における電子の量子力学的反射率を変調させることができる。そして、磁性体を含む領域内部の磁気相互作用には電子波の干渉が関与するため、この量子力学的反射率の変調を通して、磁性体を含む領域の磁化を制御することができる。この場合、ポテンシャル障壁領域は磁性体を含む領域の外部に配置することができることから、電圧印加などの入力を行うための電極を容易に配設することができる。このため、磁界を印加することなく磁性体を含む領域の磁化を容易に制御することが可能となり、例えば、磁性体を含む領域の磁化の少なくとも一つを用いて情報記憶を行うことが可能となる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施形態について図面を参照しながら詳細に説明する。図1はこの発明の第1の実施形態による磁気機能素子を示し、図1Aはこの磁気機能素子の断面図、図1Bはこの磁気機能素子の電子のポテンシャル図を図1Aに対応して示したものである。図1Bのポテンシャル図において、実線は上向きスピンの感じるポテンシャルであり、点線は下向きスピンの感じるポテンシャルである。非磁性層中などでポテンシャルにスピン非対称がない場合には実線で示してある。

【0024】この第1の実施形態においては、磁性体を含む領域と直接または間接的に接するようにポテンシャル障壁領域を配置する。すなわち、図1Aに示すように、磁性体を含む領域11は、2層の強磁性体層11a、11bが非磁性の中間層11cによって分離された積層構造であり、ポテンシャル障壁領域12は、磁性体を含む領域11の表面に積層された金属層12aおよび半導体層12bからなる。また、このポテンシャル障壁

領域12のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅を変調させるために必要な電界を印加するために、半導体層12b上に電極13が配設されている。

【0025】いま、図2Aに示すように電極13に正の電圧を印加すると、この場合のポテンシャル図は、図2Bのようになる。この時ショットキー効果が起こり、磁性体を含む領域11とポテンシャル障壁領域12との界面のショットキー障壁、すなわちポテンシャル障壁の高さが、電圧印加前の V_b から V_b' に下がっている。この磁気機能素子では、このポテンシャル障壁の高さの減少を、磁性体を含む領域11の内部における磁気相互作用の変調に反映させることを特徴とする。

【0026】ここで、ポテンシャル障壁の高さの減少によって磁性体を含む領域11の磁気相互作用が変調される原理について説明する。数nmの厚さを有する非磁性金属中間層によって分離された強磁性金属層の間には、非磁性金属中間層を介した間接的な磁気相互作用が働くことが広く知られている。この磁気相互作用の大きさや符号(平行配列と反平行配列とのいずれが安定であるかを決定する)は、強磁性金属層を構成する強磁性物質と非磁性金属中間層を構成する非磁性物質との組み合わせや、非磁性金属体中間層の厚さなどに依存する。例えば、図1Aにおいては、上記の間接的磁気相互作用によって、強磁性体層11a、11bの磁化が互いに反平行になるような配置で安定化されている。

【0027】交換結合定数をJとすると、Jは非磁性金属中間層の厚さのみならず、強磁性体層の厚さや外部に配置した保護膜などの厚さに対しても振動する場合があることが知られている。この起源については量子干渉モデルによる説明がなされている(P. Bruno / Journal of magnetism and magnetic materials 121(1993)p. 248など)。非磁性金属中間層、強磁性体層、保護膜、基板、真空等の全てを含めた系において、非磁性金属中間層のフェルミ面電子が、各層の界面で量子力学的に反射され多重干渉することによって強め合うような定在波を形成する場合があるが、これは全エネルギーの上昇を意味する。強磁性体層における電子ポテンシャルはスピンの向きによって異なるため、強磁性体層が平行配列している場合と反平行配列している場合とでは上記の定在波形成の条件が異なり、いずれがエネルギー的に安定であるかが決定される。この定在波形成条件は電子波の位相整合条件であり、層厚に対して振動的に成立するため、Jは層厚に対して振動的に変化する。

【0028】しかしこの層厚に対するJの変化は、層厚を外部刺激で変調させることが困難であるため、磁気相互作用の変調に利用しづらい。そこで、位相整合条件を決定する別のパラメータを制御する必要がある。この第1の実施形態においては、電子の量子力学的反射率を変調させることにより、多重干渉における位相整合条件を変調させるものである。

【0029】すなわち、図1におけるポテンシャル障壁領域12のポテンシャル障壁を変調させることによって、磁性体を含む領域11とポテンシャル障壁領域12との界面における、電子の量子力学的反射率を変調させる。磁性体を含む領域11の内部の磁気相互作用には、磁性体を含む領域11の外部も含めた系全体の干渉が影響するため、磁性体を含む領域11の外部における量子力学的反射率の変化であっても磁気相互作用の変調につなげることができる。

【0030】この第1の実施形態におけるポテンシャル障壁の高さおよび／または幅の変調により得られるJの大きさの変化の一例を計算で求めた結果を図3に示す。図3の縦軸は交換結合定数J、横軸は金属層12aを基準として測ったポテンシャル障壁の高さWである。ただし、強磁性体層11a、11bとしてFe層を用い、中間層11cおよび金属層12aとしてAu層を用い、中間層11cの厚さd=1.428nm、強磁性体層11a、11bの厚さl=2.016nm、金属層12aの厚さt=1.836nmとした。また、半導体層12bとしてはn型Ge層を用い、この場合の金属層12aと半導体層12bとの界面のショットキー障壁の高さは0.59eVである。図3に示すように、電極13に電圧を印加する前にはW=6.1eVであり、その時J=-0.019mJ/m²であったのが、電極13に13.8Vの電圧を印加した時にはW=5.6eVとなり、その時J=-0.041mJ/m²となり、電圧印加前後のJの変化量は-0.022mJ/m²であり、これは磁化反転を起こすのに十分な大きさである。

【0031】以上のように、この第1の実施形態によれば、磁性体を含む領域11と接するようにポテンシャル障壁領域12を配置し、このポテンシャル障壁領域12のポテンシャル障壁を電極13に電圧を印加することにより変調し、この変調によって、磁性体を含む領域11の磁化、具体的には強磁性体層11bの磁化を制御するようにしているので、従来のように磁界を用いることなく、強磁性体層11bの磁化を容易に制御することができる。また、この場合、ポテンシャル障壁領域12は磁性体を含む領域11の外部に配置することができることから、電圧印加による入力を行うための電極13を容易に配設することができる。

【0032】図4はこの発明の第2の実施形態による磁気機能素子を示す。この第2の実施形態においては、第1の実施形態による磁気機能素子の構造をより具体化した例について説明する。図4に示すように、この磁気機能素子においては、基板21上に、下地層22a、22bを介して、2層の強磁性体層23a、23bが非磁性の中間層23cによって分離された積層構造からなる、磁性体を含む領域23が配置されており、その上に金属層24aおよび半導体層24bからなるポテンシャル障壁領域24が配設され、さらにその上に電極25が配設

されている。

【0033】基板21としては、例えば、酸化マグネシウム(MgO)基板、サファイア基板、ガラス基板、シリコン基板、プラスチック基板などを用いることができる。下地層22aとしては例えば銀(Ag)膜、下地層22bとしては例えば金(Au)膜を用いることができる。これらの下地層22a、22bはそれらの上層の成長を良好に行うためのものであるが、必要に応じて省略してもよい。これらの下地層22a、22bは下部電極として用いることもできる。強磁性体層23a、23bとしては、例えば、鉄(Fe)、コバルト(Co)、ニッケル(Ni)およびそれらの合金、さらにはこれらの元素を含む合金などを用いることができる。非磁性の中間層23cとしては、例えば、金(Au)、銀(Ag)、銅(Cu)、クロム(Cr)、ルテニウム(Ru)、アルミニウム(Al)などの貴金属や遷移金属などのなかから、強磁性体層23a、23b間に間接的な磁気相互作用が働くような組み合わせとなるものを選んで用いる。ポテンシャル障壁領域24を構成する金属層24aおよび半導体層24bとしてはショットキー障壁を形成するもの、例えばそれぞれ金(Au)およびゲルマニウム(Ge)（特にn型のもの）の組み合わせが用いられる。

【0034】典型的な一つの例では、基板21は厚さ500μmのMgO基板、下地層22aは厚さ150nmのAg膜、下地層22bは厚さ16nmのAu膜、強磁性体層23a、23bは厚さ2nmのFe膜、非磁性の中間層23cは厚さ1.4nmのAu膜、金属層24aは厚さ1.8nmのAu膜、半導体層24bは厚さ5nmのn型Ge膜、電極15は厚さ100nmのAl膜である。

【0035】図5はこの発明の第3の実施形態による磁気機能素子を示す。この磁気機能素子は、第2の実施形態による磁気機能素子における金属層24aを省略したものに相当する。すなわち、図5に示すように、この磁気機能素子においては、基板31上に、下地層32a、32bを介して、2層の強磁性体層33a、33bが非磁性の中間層33cによって分離された積層構造からなる、磁性体を含む領域33が配置されており、その上に半導体層34が配設され、さらにその上に電極35が配設されている。この場合、強磁性体層33bと半導体層34との間にショットキー障壁が形成されており、これらの強磁性体層33bおよび半導体層34がポテンシャル障壁領域を構成する。

【0036】基板31、下地層32a、32b、強磁性体層33a、33b、非磁性の中間層33c、半導体層34および電極35としては、第2の実施形態と同様なものを用いることができる。

【0037】図6はこの発明の第4の実施形態による磁気機能素子を示す。この磁気機能素子は、第2の実施形

態による磁気機能素子における金属層 24a と半導体層 24b とによるショットキー障壁の代わりに絶縁障壁を用いたものに相当する。すなわち、図 6 に示すように、この磁気機能素子においては、基板 41 上に、下地層 42a、42b を介して、2 層の強磁性体層 43a、43b が非磁性の中間層 43c によって分離された積層構造膜からなる、磁性体を含む領域 43 が配置されており、その上に絶縁体層 44 が配設され、さらにその上に電極 45 が配設されている。この場合、絶縁体層 44 がポテンシャル障壁領域を構成する。

【0038】基板 41、下地層 42a、42b、強磁性体層 43a、43b、非磁性の中間層 43c および電極 45 としては、第 2 の実施形態と同様なものを用いることができる。絶縁体層 44 としては、例えば、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、酸化セリウム (CeO_2)、酸化マグネシウム (MgO)、酸化ハフニウム (HfO_2)、酸化タンタル (TaO_2) などを用いることができる。

【0039】図 7 はこの発明の第 5 の実施形態による磁気機能素子を示す。この磁気機能素子は、第 2 の実施形態における磁性体を含む領域 23 とポテンシャル障壁領域 24 との上下関係を逆にし、基板側にポテンシャル障壁領域を配置したものに相当する。すなわち、図 7 に示すように、この磁気機能素子においては、基板 51 上に、下地層 52a、52b を介して、半導体層 53a および金属層 53b からなるポテンシャル障壁領域 53 が配設され、その上に、2 層の強磁性体層 54a、54b が非磁性の中間層 54c によって分離された積層構造からなる、磁性体を含む領域 54 が配置され、さらにその上に電極 55 が配設されている。

【0040】基板 51、下地層 52a、52b、半導体層 53a、金属層 53b、強磁性体層 54a、54b、非磁性の中間層 54c および電極 55 としては、第 2 の実施形態と同様なものを用いることができる。

【0041】図 8 はこの発明の第 6 の実施形態による磁気機能素子を示す。この磁気機能素子は、第 5 の実施形態による磁気機能素子における金属層 53a を省略したものに相当する。すなわち、図 8 に示すように、この磁気機能素子においては、基板 61 上に、下地層 62a、62b を介して、半導体層 63 が配設され、その上に、2 層の強磁性体層 64a、64b が非磁性の中間層 64c によって分離された積層構造からなる、磁性体を含む領域 64 が配置されており、さらにその上に電極 65 が配設されている。この場合、半導体層 63 と強磁性体層 64a との間にショットキー障壁が形成されており、これらの半導体層 63 および強磁性体層 64a がポテンシャル障壁領域を構成する。

【0042】基板 61、下地層 62a、62b、半導体層 63、強磁性体層 64a、64b、非磁性の中間層 64c および電極 65 としては、第 2 の実施形態と同様な

ものを用いることができる。

【0043】図 9 はこの発明の第 7 の実施形態による磁気機能素子を示す。この磁気機能素子は、第 5 の実施形態による磁気機能素子における金属層 53b と半導体層 53a とによるショットキー障壁の代わりに絶縁障壁を用いたものに相当する。すなわち、図 9 に示すように、この磁気機能素子においては、基板 71 上に、下地層 72a、72b を介して、絶縁体層 73 が配設され、その上に、2 層の強磁性体層 74a、74b が非磁性の中間層 74c によって分離された積層構造からなる、磁性体を含む領域 74 が配置されており、さらにその上に電極 75 が配設されている。この場合、絶縁体層 73 がポテンシャル障壁領域を構成する。

【0044】基板 71、下地層 72a、72b、強磁性体層 74a、74b、非磁性の中間層 74c および電極 75 としては、第 2 の実施形態と同様なものを用いることができる。絶縁体層 73 としては、第 4 の実施形態と同様なものを用いることができる。

【0045】図 10 はこの発明の第 8 の実施形態による情報記憶素子を示し、一個のメモリセルを示す。ここで、図 10A は平面図、図 10B は図 10A の B-B 線に沿っての断面図である。

【0046】この情報記憶素子は、第 5～第 7 の実施形態による磁気機能素子と同様に、ポテンシャル障壁領域を基板側に設けた構造をとっている。すなわち、図 10 に示すように、この情報記憶素子においては、基板 81 上に、下部電極 82、半導体層 83 および一軸磁気異方性を有する軟磁性体層 84 が順次積層されている。基板 81 としては、第 2 の実施形態と同様なものを用いることができる。これらの下部電極 82 および半導体層 83 がポテンシャル障壁領域を構成する。ここで、下部電極 82 および半導体層 83 は、それらの間にショットキー障壁が形成されるような材料により形成され、具体的には例えば、下部電極 82 は Au により、半導体層 83 は n 型 Ge により形成される。軟磁性体層 84 の所定部分の上には、所定形状にパターン化された非磁性の中間層 85a、硬磁性体層 86a および上部電極 87a が順次積層されて、第 1 の書き込み部が形成されている。軟磁性体層 84 上には、この第 1 の書き込み部に隣接して、所定形状にパターン化された非磁性の中間層 85b、硬磁性体層 86b および上部電極 87b が順次積層されて、第 2 の書き込み部が形成されている。第 1 の書き込み部においては、軟磁性体層 84 および硬磁性体層 86a が非磁性の中間層 85a によって分離された積層構造が磁性体を含む領域を構成している。同様に、第 2 の書き込み部においては、軟磁性体層 84 および硬磁性体層 86b が非磁性の中間層 85b によって分離された積層構造が磁性体を含む領域を構成している。

【0047】軟磁性体層 84 上にはさらに、第 2 の書き込み部に隣接して、所定形状にパターン化された絶縁体

層 88、硬磁性体層 89 および上部電極 90 が順次積層されて、読み出し部が形成されている。この場合、絶縁体層 88 および硬磁性体層 89 が読み出し部の強磁性トンネル接合を構成する。

【0048】ここで、硬磁性体層 86a、硬磁性体層 86b および硬磁性体層 89 は保磁力が大きく、磁化が固定しているものであり、軟磁性体層 84 は保持力が硬磁性体層 86a、硬磁性体層 86b および硬磁性体層 89 よりも小さい。軟磁性体層 84 の材料としては例えばパーマロイ (Fe-Ni 合金)、硬磁性体層 86a、硬磁性体層 86b および硬磁性体層 89 の材料としては例えば Co-Pt 合金を用いることができる。

【0049】この情報記憶素子においては、下部電極 82 と上部電極 87a または上部電極 87b との間に電圧を印加して下部電極 82 および半導体層 83 からなるポテンシャル障壁領域のポテンシャル障壁を変調することにより、第 1 の書き込み部における軟磁性体層 84 と硬磁性体層 86a との間の磁氣的相互作用または第 2 の書き込み部における軟磁性体層 84 と硬磁性体層 86b との間の磁氣的相互作用を制御することができるように非磁性の中間層 85a、85b の厚さなどが選ばれている。

【0050】次に、この情報記憶素子に対する情報の書き込み方法および読み出し (再生) 方法について説明する。ここでは、図 10 に示すように、第 1 の書き込み部における硬磁性体層 86a は図中右方向の固定磁化を有し、第 2 の書き込み部における硬磁性体層 86b は図中左方向の固定磁化を有すると仮定する。また、軟磁性体層 84 の磁化が図中右方向を向いているときを情報

「1」に対応させ、図中左方向を向いているときを情報「0」に対応させる。情報の対応関係をこれと逆にしてもよいことは言うまでもない。さらに、読み出し部の硬磁性体層 89 は図中左方向の固定磁化を有すると仮定する。

【0051】まず、書き込み方法について説明する。いま、メモリセルに情報「1」を書き込む場合には、第 1 の書き込み部の上部電極 87a と下部電極 82 との間に、軟磁性体層 84 と硬磁性体層 86a との間の交換結合定数 J が 0.02 mJ/m^2 以上となるような電圧を印加する。すると、軟磁性体層 84 の磁化は硬磁性体層 86a の磁化と同じ向きに揃い、図中右方向を向く。これによって、メモリセルに情報「1」が書き込まれる。一方、メモリセルに情報「0」を書き込む場合には、第 2 の書き込み部の上部電極 87b と下部電極 82 との間に、軟磁性体層 84 と硬磁性体層 86b との間の交換結合定数 J が 0.02 mJ/m^2 以上となるような電圧を印加する。すると、軟磁性体層 84 の磁化は硬磁性体層 86b の磁化と同じ向きに揃い、図中左方向を向く。これによって、メモリセルに情報「0」が書き込まれる。

【0052】次に、情報の読み出し方法について説明す

る。読み出しには、軟磁性体層 84 の磁化が図 10 中右方向を向いているときと左方向を向いているときとで、第 1 の書き込み部の上部電極 87a または第 2 の書き込み部の上部電極 87b と読み出し部の上部電極 90 との間に電圧を印加した時に流れる電流に差があることを利用する。すなわち、軟磁性体層 84 の磁化が図 10 中右方向を向いているか左方向を向いているかで、絶縁体層 88 および硬磁性体層 89 からなる強磁性トンネル接合の抵抗が異なり、流れる電流の大きさが異なるため、この電流の大小を図示省略したセンスアンプなどにより検出することで、メモリセルに記憶されている情報を読み出すことができる。

【0053】この第 8 の実施形態による情報記憶素子によれば、磁界を用いることなく磁化制御を行うことにより情報の書き込みを行うことができ、しかも情報の読み出しも電流の検出により行うことができる。そして、磁界を用いなくて磁化制御を行うこの情報記憶素子により、アクセス時間が短く、高集積化が容易であり、不揮発性であり、書き換え可能回数も多く、クロストークもない、極めて理想的な固体メモリを実現することができる。

【0054】図 11 はこの発明の第 9 の実施形態による情報記憶素子を示し、一個のメモリセルを示す。ここで、図 11A は平面図、図 11B は図 11A の B-B 線に沿っての断面図である。

【0055】この情報記憶素子は、第 8 の実施形態による情報記憶素子における第 1 の書き込み部における硬磁性体層を軟磁性体層と半導体層との間に配置し、第 1 の書き込み部の上に第 2 の書き込み部を形成したものに相当する。すなわち、図 11 に示すように、この情報記憶素子においては、基板 101 上に、下部電極 102、半導体層 103、硬磁性体層 104a、非磁性の中間層 105a および一軸磁気異方性を有する軟磁性体層 106 が順次積層されている。下部電極 102 および半導体層 103 がポテンシャル障壁領域を構成する。ここで、下部電極 102 および半導体層 103 は、それらの間にショットキー障壁が形成されるような材料により形成され、具体的には例えば、下部電極 102 は Au により、半導体層 103 は n 型 Ge により形成される。硬磁性体層 104a、中間層 105a および軟磁性体層 106 により第 1 の書き込み部が形成されている。軟磁性体層 106 の所定部分の上には、所定形状にパターン化された非磁性の中間層 105b、硬磁性体層 104b および上部電極 107 が順次積層されて、第 2 の書き込み部が形成されている。第 1 の書き込み部においては、硬磁性体層 104a および軟磁性体層 106 が非磁性の中間層 105a によって分離された積層構造が磁性体を含む領域を構成している。同様に、第 2 の書き込み部においては、軟磁性体層 106 および硬磁性体層 104b が非磁性の中間層 105b によって分離された積層構造が磁性

体を含む領域を構成している。

【0056】軟磁性体層106上にはさらに、第2の書き込み部に隣接して、所定形状にパターン化された絶縁体層108、硬磁性体層109および上部電極110が順次積層されて、読み出し部が形成されている。この場合、絶縁体層108および硬磁性体層109が読み出し部の強磁性トンネル接合を構成する。

【0057】ここで、硬磁性体層104a、硬磁性体層104bおよび硬磁性体層109は保持力が大きく、磁化が固定しているものであり、軟磁性体層106は保持力が硬磁性体層104a、硬磁性体層104bおよび硬磁性体層109よりも小さい。軟磁性体層104の材料としては例えばパーマロイ（Fe-Ni合金）、硬磁性体層104a、硬磁性体層104bおよび硬磁性体層109の材料としては例えばCo-Pt合金を用いることができる。

【0058】この情報記憶素子においては、第8の実施形態による情報記憶素子と異なり、第1の書き込み部および第2の書き込み部の上部電極の選択により軟磁性体層106の磁化方向を選択することができないので、中間層105aの厚さは、下部電極102の電位のみで硬磁性体層104aと軟磁性体層106との間の磁氣的相互作用を制御することができる厚さに選び、中間層105bの厚さは、下部電極102および上部電極107の両方に電位を与えて初めて硬磁性体層104bと軟磁性体層106との間の磁氣的相互作用を制御することができるような厚さにそれぞれ設計される。

【0059】この情報記憶素子に対する情報の書き込み方法および読み出し方法は、上記のことを除いて、第8の実施形態と同様であるので、説明を省略する。この第9の実施形態によれば、第8の実施形態と同様な利点を得ることができるほか、第1の書き込み部の上に第2の書き込み部が形成されていることにより、メモリセルの占有面積の低減を図ることができ、メモリセルの高集積化にさらに有利であるという利点を得ることができる。

【0060】図12はこの発明の第10の実施形態によるトランジスタを示す。このトランジスタは、電圧印加によって磁気抵抗が変化することを利用する磁気機能素子である。

【0061】図12に示すように、このトランジスタにおいては、基板121上に、2層の強磁性体層122、123が非磁性の中間層124によって分離された積層構造からなる、磁性体を含む領域が配置されており、その上にゲート絶縁膜125が配設され、さらにその上にゲート電極126が配設されている。この場合、ゲート絶縁膜125がポテンシャル障壁領域を構成する。磁性体を含む領域の両側にはソース電極127およびドレイン電極128が、2層の強磁性体層122、123が非磁性の中間層124によって分離された積層構造と電氣的に接触して、配設されている。

【0062】基板121、強磁性体層122、123および非磁性の中間層124としては、第2の実施形態における基板41、強磁性体層43a、43bおよび非磁性の中間層43cと同様なものを用いることができ、同様に、ゲート電極126としては、第2の実施形態における電極45と同様なものを用いることができる。さらに、ゲート絶縁膜125としては、第4の実施形態における絶縁体層44と同様なものを用いることができる。強磁性体層122、123および非磁性の中間層124からなる積層構造は、好適には、下地層を介して基板121上に配置され、この下地層としては、第2の実施形態における下地層42a、42bと同様なものを用いることができる。

【0063】このトランジスタにおいては、強磁性体層122と強磁性体層123の間には、非磁性の中間層124を介して層間交換結合が働いている。このため、ゲート電極126に正の電圧を印加すると、ゲート絶縁膜125と強磁性体層123との界面でショットキー効果が起こり、強磁性体層122、123が非磁性の中間層124を介して積層された積層構造における磁気交換結合が制御される。これにより、強磁性体層122の磁化と強磁性体層123の磁化との相対角度が変化し、これに伴い磁気抵抗も変化する。そこで、例えば、ソース電極127に対してドレイン電極128に正の電圧を印加すると、ゲート電圧の有無（0もしくは+V）により、強磁性体層122、123および非磁性の中間層124からなる積層構造における磁化の相対角度が変化し、磁気抵抗が変化することにより、ドレイン電流の変化が生ずる。このようにして、電圧入力で電流変調を行うことができる。

【0064】この第10の実施形態によれば、従来のFETと異なり、金属と絶縁体のみでトランジスタを構成することができ、微細化を図ることができる。また、報告されているスピントランジスタと異なり、現実的なデバイスであり、電流磁界を一切使用していないために高密度化も可能である。

【0065】上述の第1～第10の実施形態において用いた方法、つまり電子波の干渉によって決定される系の安定状態を、表面障壁高さの変調（すなわち、表面での電子の量子力学的反射率の変調）によって制御する方法は、上述のような磁性層間の間接的磁気相互作用の制御以外にも利用することができる。具体的には、この方法は、磁気異方性の制御にも利用することができる。これについて説明すると次のとおりである。

【0066】磁性薄膜の磁気異方性は、その上に堆積させた非磁性層の厚さに対して振動的に変化する場合があることが知られている（C.H.Back et al., Journal of Applied Physics 81(1997)5054）。この現象の起源は、非磁性層の厚さが一原子層以上の場合には、磁性層間の間接的磁気相互作用の振動現象と同じであると言われてい

る。すなわち、非磁性層中での電子波の干渉における位相整合の条件は、厚さに対して振動的に成立し、これが状態密度の変化を通じて磁性層／非磁性層界面の電子のバンド構造を振動的に変化させ、磁気異方性の振動的な変調につながっている。

【0067】一方で位相整合条件は、非磁性層表面のポテンシャル障壁を変調することによって制御することができることは、すでに述べたとおりである。したがって、間接的磁気相互作用と同様に、ショットキー効果などを利用することで、電圧によって磁気異方性を制御することができることになる。

【0068】以下、この電圧による磁気異方性の制御を利用した磁気機能素子の実施形態について説明する。図13はこの発明の第11の実施形態による磁気機能素子を示し、図13Aはこの磁気機能素子の断面図、図13Bはこの磁気機能素子の電子のポテンシャル図を図13Aに対応して示したものである。図13Bのポテンシャル図において、実線は上向きスピンの感じるポテンシャルであり、点線は下向きスピンの感じるポテンシャルである。非磁性層中などでポテンシャルにスピン非対称がない場合には実線で示してある。

【0069】この第11の実施形態においては、磁性体を含む領域と非磁性体を介して接するようにポテンシャル障壁領域を配置する。すなわち、図13Aに示すように、強磁性体層131が磁性体を含む領域を形成し、その表面に非磁性体132が積層されている。ポテンシャル障壁領域は、非磁性体層132の表面に積層された絶縁体層133である。このポテンシャル障壁領域としての絶縁体層133のポテンシャル障壁の高さおよび／または幅を変調させるために必要な電界を印加するために、絶縁体層133上に電極134が配設されている。

【0070】いま、図13Aに示すように電極134に正の電圧を印加すると、この場合のポテンシャル図は、図13Bのようになる。この時ショットキー効果が起こり、非磁性体層132とポテンシャル障壁領域との界面のポテンシャル障壁の高さが、電圧印加前の V_0 から V_1 に下がっている。この磁気機能素子では、このポテンシャル障壁の高さの減少を、強磁性体層131の磁気異方性の変調に反映させることを特徴とする。

【0071】ポテンシャル障壁の高さの減少によって強磁性体層131の磁気異方性が変調させられる原理は、すでに述べたとおりである。図13における強磁性体層131の磁化方向は、磁気異方性の強さが不十分であるために比較的不安定であったのに対し、図14では電圧の印加により磁気異方性が増大し、磁化方向が安定になったことが示されている。

【0072】このように、この第11の実施形態によれば、強磁性体層131と、非磁性体層132を介して接するようにポテンシャル障壁領域を構成する絶縁体層133を配置し、このポテンシャル障壁領域のポテンシ

ャル障壁を電極134に電圧を印加することにより変調し、この変調によって強磁性体層131の磁化を制御するようにしているので、従来のように磁界を用いることなく、強磁性体層131の磁化を容易に制御することができる。また、この場合、ポテンシャル障壁領域を構成する絶縁体層133は強磁性体層131の外部に配置することができることから、電圧印加による入力を行うための電極134を容易に配設することができる。

【0073】図15はこの発明の第12の実施形態による磁気機能素子を示す。この第12の実施形態においては、第11の実施形態による磁気機能素子の構造をより具体化した例について説明する。図15に示すように、この磁気機能素子においては、基板141上に、下地層142を介して、一層の強磁性体層143が配設されており、その上に非磁性体層144およびポテンシャル障壁領域を構成する絶縁体層145が配設され、さらにその上に電極146が配設されている。

【0074】基板141、下地層142および強磁性体層143としては、第2の実施形態と同様なものを用いることができる。また、非磁性体層144としては、Au、Ag、Cuなどの貴金属や遷移金属を用いることができる。ポテンシャル障壁領域を構成する絶縁体層145としては、第2の実施形態と同様なものを用いることができる。

【0075】図16はこの発明の第13の実施形態による磁気機能素子を示す。この磁気機能素子は、第12の実施形態による磁気機能素子における絶縁体層145からなるポテンシャル障壁領域の代わりに、半導体と金属との界面に形成されるショットキー障壁を用いたものに相当する。すなわち、図16に示すように、この磁気機能素子においては、基板151上に、下地層152を介して、一層の強磁性体層153が配設されており、その上に非磁性体層154および半導体層155が順次配設され、さらにその上に電極156が配設されている。この場合、このショットキー障壁領域がポテンシャル障壁領域を構成する。

【0076】図17はこの発明の第14の実施形態による磁気機能素子を示す。この磁気機能素子は、第12の実施形態における強磁性体層143、非磁性体層144およびポテンシャル障壁領域を構成する絶縁体層145の上下関係を逆にし、基板側にポテンシャル障壁領域を配置したものに相当する。すなわち、図17に示すように、この磁気機能素子においては、基板161上に、下地層162を介して、絶縁体層163からなるポテンシャル障壁領域が配設され、その上に非磁性体層164および強磁性体層165が順次配設され、さらにその上に電極166が配設されている。

【0077】図18はこの発明の第15の実施形態による磁気機能素子を示す。この磁気機能素子は、第14の実施形態による磁気機能素子における絶縁体層163か

らなるショットキー障壁の代わりに、半導体と金属との界面に形成されるショットキー障壁を用いたものに相当する。すなわち、図 18 に示すように、この磁気機能素子においては、基板 171 上に、下地層 172 を介して、半導体層 173 が配設され、その上に非磁性体層 174 および強磁性体層 175 が順次配設され、さらにその上に電極 176 が配設されている。この場合、半導体層 173 と非磁性体層 174 との界面に形成されたショットキー障壁がポテンシャル障壁領域となる。

【0078】以上、この発明の実施形態につき具体的に説明したが、この発明は、上述の実施形態に限定されるものではなく、この発明の技術的思想に基づく各種の変形が可能である。

【0079】すなわち、上述の実施形態において挙げた数値、構造、形状、材料などはあくまでも例に過ぎず、必要に応じて、これらと異なる数値、構造、形状、材料などを用いることも可能である。

【0080】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、磁性体を含む領域と直接または間接的に接するようにポテンシャル障壁領域を配置し、このポテンシャル障壁領域のポテンシャル障壁の変調によって、磁性体を含む領域の磁化を制御するので、磁界を用いることなく磁化を制御することができる。これによって、電圧印加などの入力を行うための電極を容易に配設することができるようになるなど、従来の技術が有する多くの問題を一挙に解決することができる。そして、これによって、例えば、アクセス時間が短く、高集積化が容易であり、不揮発性であり、書き換え可能回数も多く、クロストークもない、極めて理想的な固体メモリを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】この発明の第 1 の実施形態による磁気機能素子を示す断面図および電圧印加前のポテンシャル図である。

【図 2】この発明の第 1 の実施形態による磁気機能素子を示す断面図および電圧印加後のポテンシャル図である。

【図 3】この発明の第 1 の実施形態による磁気機能素子の動作を説明するための略線図である。

【図 4】この発明の第 2 の実施形態による磁気機能素子を示す断面図である。

【図 5】この発明の第 3 の実施形態による磁気機能素子

を示す断面図である。

【図 6】この発明の第 4 の実施形態による磁気機能素子を示す断面図である。

【図 7】この発明の第 5 の実施形態による磁気機能素子を示す断面図である。

【図 8】この発明の第 6 の実施形態による磁気機能素子を示す断面図である。

【図 9】この発明の第 7 の実施形態による磁気機能素子を示す断面図である。

【図 10】この発明の第 8 の実施形態による情報記憶素子を示す平面図および断面図である。

【図 11】この発明の第 9 の実施形態による情報記憶素子を示す平面図および断面図である。

【図 12】この発明の第 10 の実施形態によるトランジスタを示す断面図である。

【図 13】この発明の第 11 の実施形態による磁気機能素子を示す断面図および電圧印加前のポテンシャル図である。

【図 14】この発明の第 11 の実施形態による磁気機能素子を示す断面図および電圧印加後のポテンシャル図である。

【図 15】この発明の第 12 の実施形態による磁気機能素子を示す断面図である。

【図 16】この発明の第 13 の実施形態による磁気機能素子を示す断面図である。

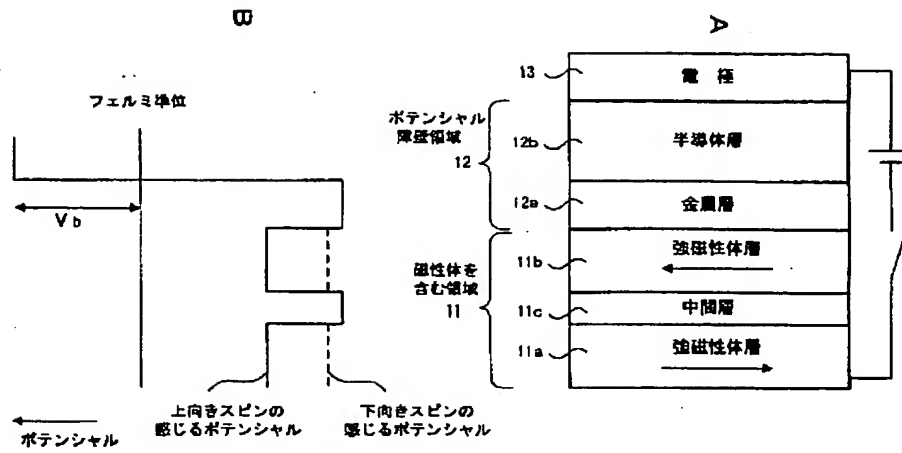
【図 17】この発明の第 14 の実施形態による磁気機能素子を示す断面図である。

【図 18】この発明の第 15 の実施形態による磁気機能素子を示す断面図である。

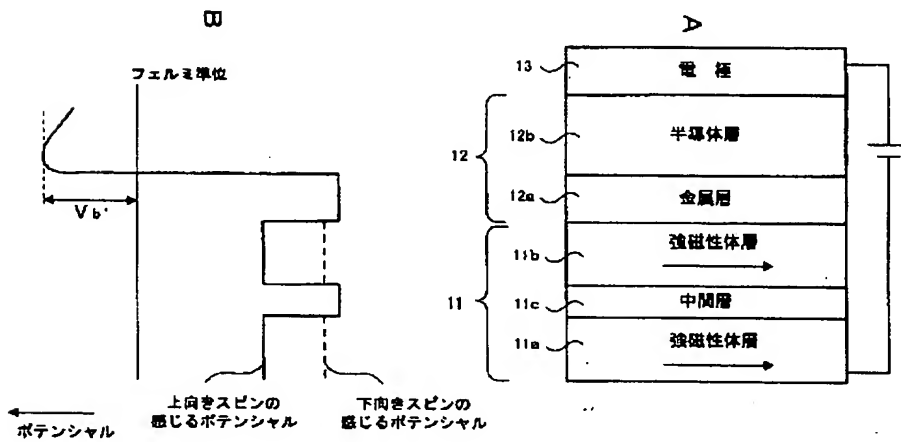
【符号の説明】

11、23、33、43、54、64、74・・・磁性体を含む領域、12、24、53・・・ポテンシャル障壁領域、21、31、41、51、61、71、81、101、121、141、151、161、171・・・基板、23a、23b、33a、33b、43a、43b、54a、54b、64a、64b、74a、74b、122、123、131、143、153、165、175・・・強磁性体層、11c、23c、33c、43c、54c、64c、74c、85a、105a、105b、124・・・中間層、12a、24a、53b・・・金属層、12b、24b、34、53a、63、83、103、155、173・・・半導体層、44、73、145、163・・・絶縁体層

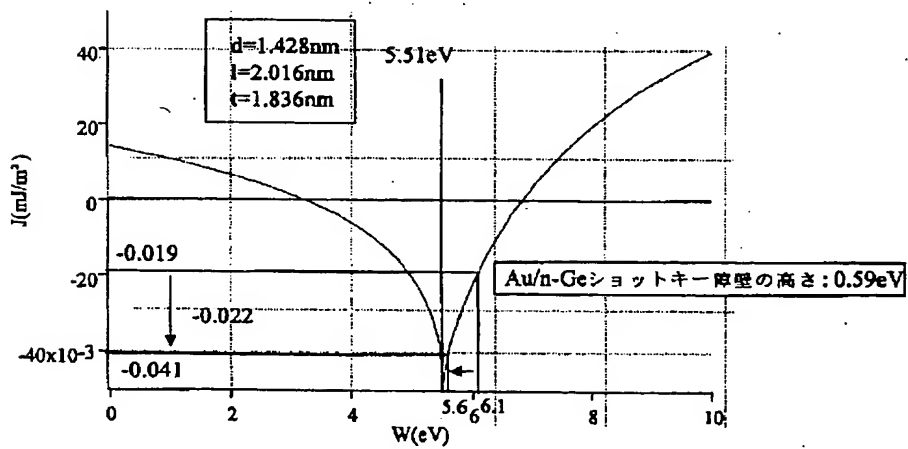
【図1】



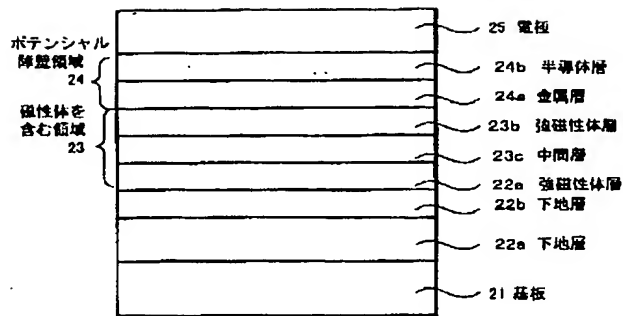
【図2】



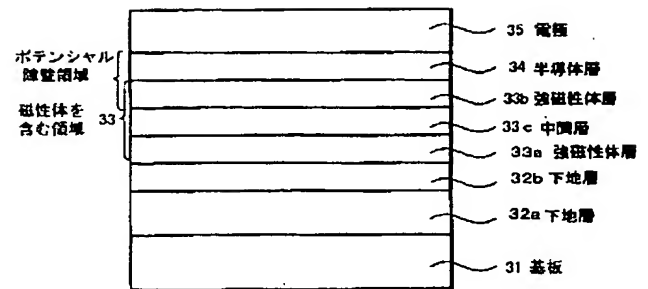
【図3】



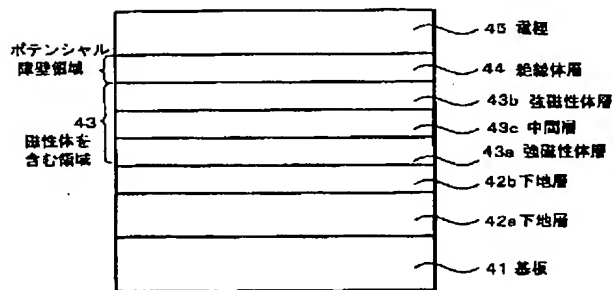
【図 4】



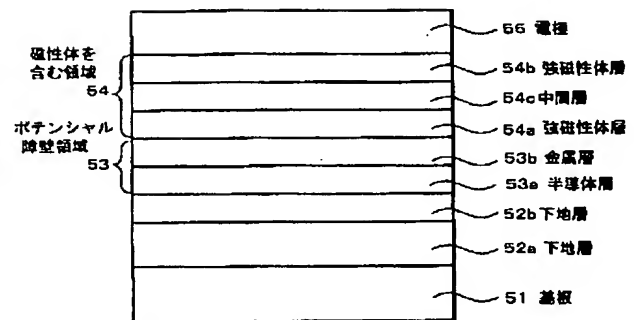
【図 5】



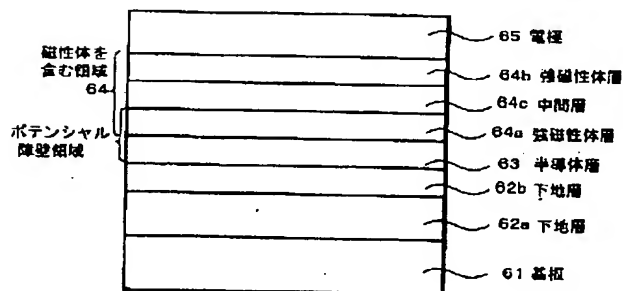
【図 6】



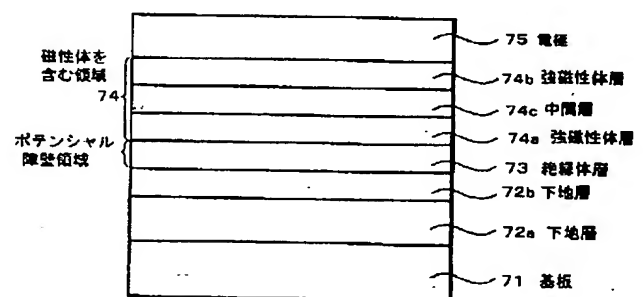
【図 7】



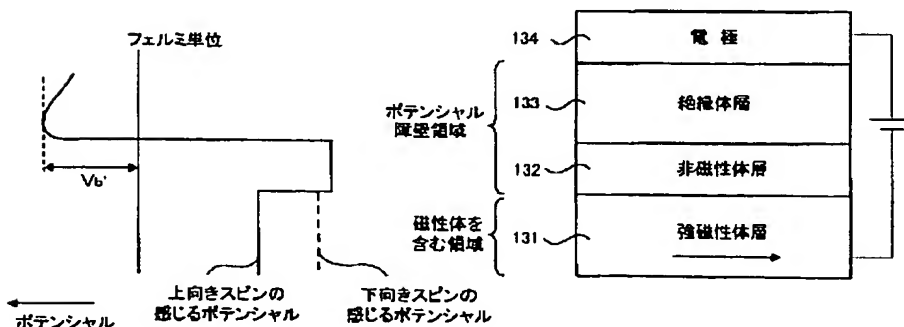
【図 8】



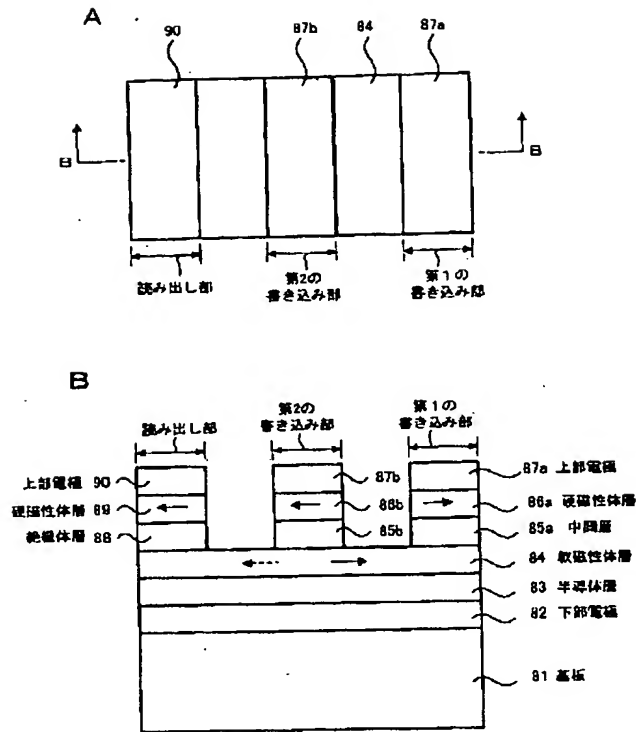
【図 9】



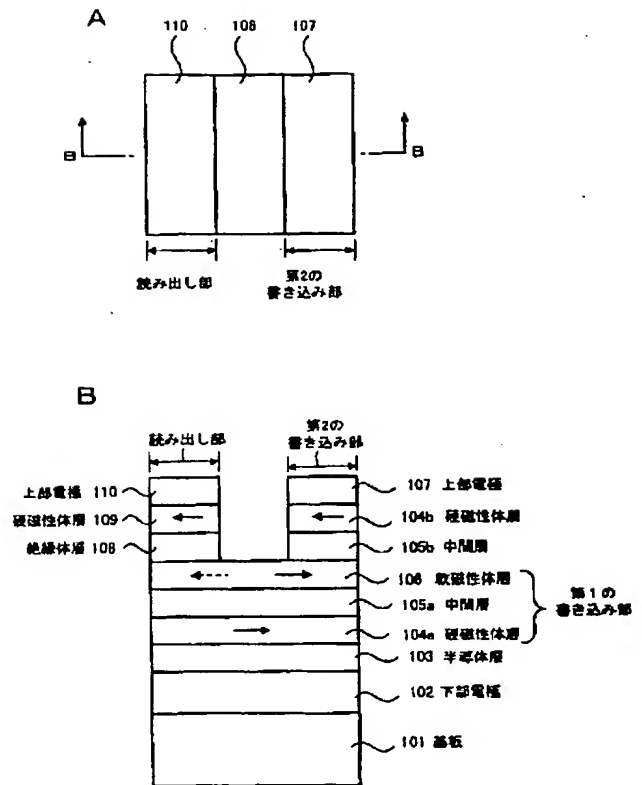
【図 14】



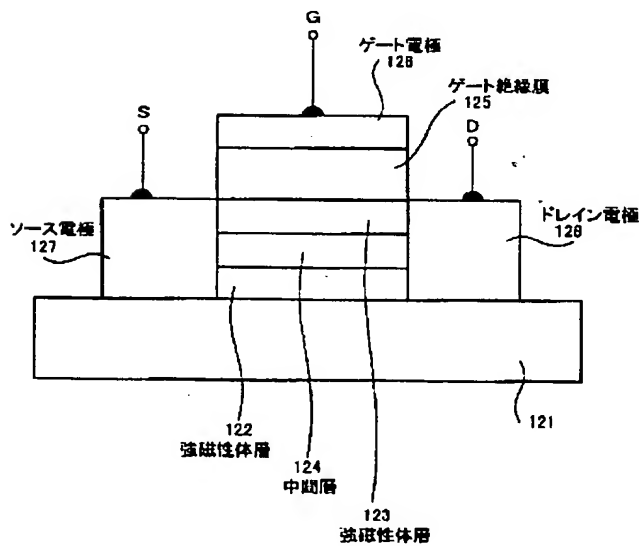
【図10】



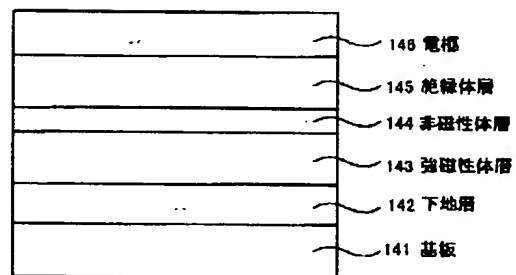
【図11】



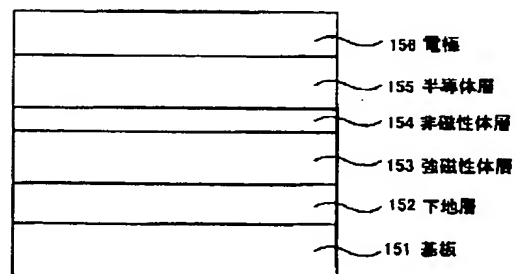
【図12】



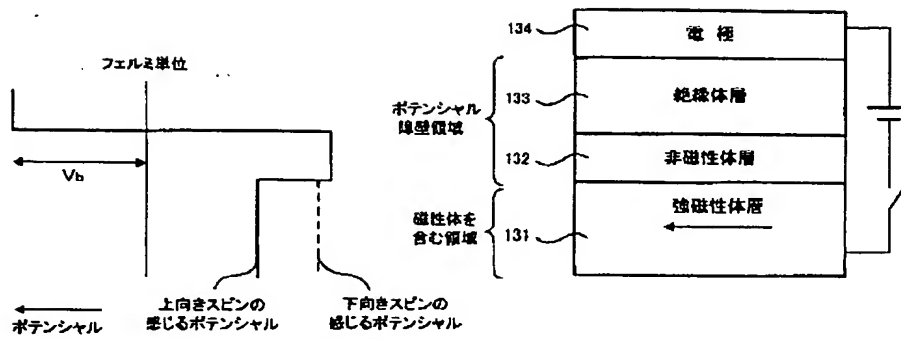
【図15】



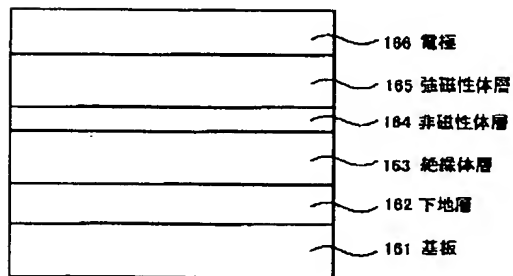
【図16】



【図 13】



【図 17】



【図 18】

